

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①⑪ N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 728 071

②⑪ N° d'enregistrement national :

94 14717

⑤① Int Cl<sup>®</sup> : G 01 F 1/69

①②

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 07.12.94.

③⑦ Priorité :

⑦① Demandeur(s) : AUXITROL SA SOCIETE ANONYME  
— FR.

⑦② Inventeur(s) : BERNARD MARC et COLLET ERIC.

④③ Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 14.06.96 Bulletin 96/24.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule.*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦③ Titulaire(s) :

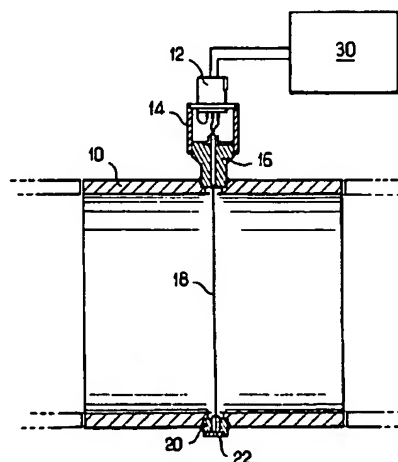
⑦④ Mandataire : REGIMBEAU.

### ⑤④ DEBITMETRE MASSIQUE A FIL CHAUD.

⑤⑦ Un débitmètre massique comprend un fil résistif (18) placé dans le trajet d'un fluide dont on souhaite mesurer le débit, des moyens d'alimentation (30) pour appliquer au fil une énergie électrique et des moyens de mesure (30) pour déduire des variations de température du fluide le débit massique du fluide.

Selon l'invention, les moyens d'alimentation comprennent des moyens de commande (30) pour appliquer des impulsions de courant au fil pendant des périodes données, et les moyens de mesure comprennent des moyens (30) pour déterminer la vitesse de refroidissement du fil entre lesdites périodes.

Application à toute mesure de débit massique, dans des environnements variés.



FR 2 728 071 - A1



BEST AVAILABLE COPY

**DEBITMETRE MASSIQUE A FIL CHAUD**

La présente invention concerne d'une façon générale les débitmètres.

La mesure de débit est un besoin important dans un grand nombre d'applications expérimentales et  
5 industrielles.

Il existe dans la technique antérieure un grand nombre de dispositifs de mesure du débit volumique de fluides, basés par exemple sur le principe des turbines entraînées par le fluide ou sur la mesure d'efforts exercés par le  
10 fluide sur une surface placée dans le courant de fluide.

Ces techniques connues sont généralement relativement imprécises, et en outre elles sont limitées à la mesure du débit volumique, sans être capables de fournir une indication de débit massique. Ainsi un débit volumique  
15 n'est pas capable de restituer le fait que des bulles de gaz sont contenues dans un écoulement.

Pour mesurer le débit massique d'un fluide dans une conduite, il faut faire appel à un capteur capable de répondre au terme  $\rho V$  ( $\rho$  étant la masse volumique et  $V$  la  
20 vitesse) et intégrer ce terme dans la section de la conduite.

Le débit massique dans la conduite est  $\int_S \rho V \cdot dS$ .

On connaît par ailleurs des débitmètres massiques, basés sur la technique du fil chaud. Des avantages de cette  
25 technique de mesure résident dans un temps de réponse généralement bon et dans le fait qu'aucune pièce n'est mobile.

Le fonctionnement du débitmètre massique à fil chaud est basé sur le principe selon lequel la convection forcée  
30 due à l'écoulement du fluide sur le fil varie de façon monotone avec le débit massique spécifique du fluide  $\rho V$ .

On connaît plusieurs principes de fonctionnement des débitmètres massiques à fil chaud. Selon un premier

principe, on fait circuler un courant dans un fil présentant une certaine résistance électrique et exposé au courant de fluide, de manière à maintenir la température du fil constante. A partir du courant nécessaire à ce  
5 maintien, on déduit le débit du fluide.

Selon un second principe, on détermine la quantité d'énergie électrique nécessaire pour amener le fil à une température donnée. Le document EP-A-0 206 215 notamment illustre cette technique.

10 Plus généralement, on sait exploiter un fil chaud en faisant varier le courant qui y circule et en analysant le comportement dynamique de la tension à ses bornes.

Toutefois, ces débitmètres à fil chaud connus sont soit de structure et de fonctionnement complexes, soit peu  
15 précis quant à la mesure obtenue.

En outre, ils nécessitent tous le recours à un fil chaud de référence permettant de déterminer la température du fluide.

La présente invention se propose de réaliser un  
20 débitmètre à fil chaud qui soit extrêmement simple et économique à réaliser, tout en fournissant une mesure du débit d'une bonne précision, et qui ne nécessite aucune information de référence.

L'invention propose à cet effet un débitmètre  
25 massique, du type comprenant un fil résistif placé dans le trajet d'un fluide dont on souhaite mesurer le débit, et des moyens d'alimentation pour appliquer au fil une énergie électrique et des moyens de mesure pour déduire des variations de température du fluide le débit massique du  
30 fluide, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation comprennent des moyens de commande pour appliquer des impulsions de courant au fil pendant des périodes données et en ce que les moyens de mesure comprennent des moyens pour déterminer la vitesse de refroidissement du fil entre  
35 lesdites périodes.

Des aspects préférés, mais non limitatifs, du débitmètre selon l'invention sont les suivants :

- les impulsions sont des impulsions de courant constant de largeur constante.
  - 5       - les moyens d'alimentation sont aptes à appliquer un très faible courant constant au fil entre lesdites périodes données, tandis que les moyens de mesure comprennent des moyens pour déterminer la vitesse de variation de la tension aux bornes du fil entre lesdites périodes.
  - 10       - les moyens de mesure comprennent un circuit de dérivation de ladite tension.
    - le débitmètre comprend un fil résistif unique disposé en travers d'un passage de fluide de section généralement rectangulaire.
  - 15       - le débitmètre comprend deux fils résistifs branchés en série et disposés diamétralement, de façon inclinée l'un par rapport à l'autre, dans un passage de fluide de section circulaire.
    - les moyens de commande sont aptes à faire varier la
  - 20       valeur de l'intensité des impulsions de courant de manière à ce que chaque impulsion de courant applique au fil résistif la même puissance électrique.
    - les moyens de commande sont aptes à faire varier au
  - 25       moins un paramètre choisi parmi l'intensité, la largeur et l'espacement des impulsions de courant de manière à maintenir le fil résistif dans des intervalles de
  - 30       température voisins pour différentes valeurs du débit.
- D'autres aspects, buts et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description
- 30       détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence au dessin annexé, sur lequel :
- 35       la figure 1 est une vue en coupe verticale axiale d'un débitmètre massique à fil chaud selon l'invention,
- la figure 2 est une vue en coupe transversale du

débitmètre de la figure 1,

la figure 3 est un diagramme de la température du fil en fonction du temps, et

la figure 4 est un schéma-bloc d'un exemple de  
5 réalisation d'une unité de traitement d'un débitmètre selon l'invention.

En référence tout d'abord aux figures 1 et 2, on a représenté une forme de réalisation concrète d'un débitmètre massique à fil chaud selon l'invention, qui  
10 comprend un corps creux généralement cylindrique 10, dans lequel le fluide dont on souhaite mesurer le débit massique est acheminé. Ce corps 10 se raccorde à des conduites d'amenée de fluide et de départ de fluide par des moyens étanches appropriés.

15 Dans le corps 10 s'étend diamétralement un fil résistif 18 dont l'extrémité inférieure est sertie dans une bague cylindrique 20 soudée dans un perçage du corps 10. Une douille d'étanchéité 22 est elle-même soudée sur la face inférieure de la bague.

20 Le fil résistif 18 est en fait constitué par un conducteur résistif plié à 180° à son extrémité inférieure et s'étendant en double dans une gaine.

De préférence, le fil résistif est un fil blindé réalisé sous forme d'un câble à isolant minéral, cet  
25 isolant étant de la magnésie fortement compactée. L'ensemble présente de préférence un faible diamètre, de l'ordre de 0,5 mm, afin de présenter un comportement dynamique satisfaisant pour la mesure du débit par détermination de pente de refroidissement. De tels câbles  
30 sont bien connus dans le domaine des thermocouples.

Dans le cas d'une mesure du débit à des températures cryogéniques (de l'ordre de quelques dizaines de °K), le fil résistif doit être conçu pour être suffisamment résistant, tant sur les plans mécanique qu'électrique, car  
35 l'on s'approche alors du domaine de la supraconductivité.

Dans ce cas, on choisit de préférence pour le fil un alliage rhodium/fer.

A son extrémité supérieure, le fil résistif traverse de façon électriquement isolante un alésage central d'une monture 16 fixée dans un autre perçage du corps 10 par soudage. Le fil est fixé à la monture 16. Au-dessus de la monture est soudée périphériquement une bague 14 à l'extrémité supérieure de laquelle est soudé un connecteur 12 de raccordement à un circuit électronique associé (non représenté). Des conducteurs relient le connecteur 12 d'une part à l'extrémité supérieure du conducteur résistif du fil 18, et d'autre part à l'extrémité supérieure de son conducteur non-résistif, les conducteurs résistif et non résistif étant reliés ensemble à leur extrémité inférieure.

En variante, dans le cas où le corps 10 est électriquement conducteur, le fil résistif peut être relié au corps à son extrémité inférieure, et sa résistance est mesurée entre son extrémité supérieure et le corps. On prévoit dans ce cas des moyens pour s'affranchir des problèmes d'interférences électromagnétiques susceptibles de naître du fait du défaut de blindage ainsi engendré.

Enfin le fil résistif 18 est relié, via le connecteur 12, à une unité électronique de traitement 30 dont on décrira plus loin dans le détail les fonctionnalités.

Selon un aspect essentiel de la présente invention, on établit un chauffage du fil résistif en y appliquant des impulsions de courant bien déterminées et l'on étudie la pente de la courbe de refroidissement du fil lorsqu'entre les impulsions successives, seul un faible courant, non significatif, le traverse (comme on le verra plus loin).

Cette pente permet, comme on le verra en détail plus loin, de déterminer le débit massique du fluide.

Le circuit électronique du débitmètre est conçu pour connaître à tout moment d'une part la tension  $U$  aux bornes du fil, et d'autre part le courant  $I$  qui le traverse. On en

déduit la valeur instantanée de sa résistance  $R = U/I$ , et donc la valeur instantanée de sa température, la résistance variant en fonction de la température selon une loi monotone que l'on connaît préalablement.

5 Grâce au fait que la mesure s'effectue par détermination d'une pente (mesure différentielle), le débitmètre selon l'invention ne nécessite aucune référence, contrairement à la majorité des systèmes antérieurement connus. Ainsi le fil 18 tient lieu à la fois de moyen de  
10 chauffage et de moyen de mesure.

Ainsi, le débitmètre selon l'invention est insensible aux variations de température du fluide dont on souhaite mesurer le débit.

Le fil 18 étant disposé selon un diamètre du passage  
15 de fluide, l'intégration de la variable  $\rho V$  qui permet d'aboutir au débit massique n'est effectuée que selon ce diamètre, et non selon la section de passage. Cela étant, dans l'hypothèse où l'écoulement du fluide est symétrique dans la conduite (cas d'un écoulement avec couche limite),  
20 le fil diamétral permet de déduire avec une bonne précision le débit massique. On observera que cette précision est d'autant meilleure que la section du passage est proche d'une forme carrée ou rectangulaire, qu'elle reste tout à fait satisfaisante pour un passage de section circulaire.

25 Selon une variante de réalisation non illustrée, le débitmètre peut comprendre deux fils chauds disposés diamétralement et orientés par exemple à  $90^\circ$  l'un par rapport à l'autre, ce qui permet de tenir compte d'une éventuelle dissymétrie de l'écoulement.

30 Dans ce cas, les deux fils résistifs sont reliés en série.

L'unité de traitement associée à l'ensemble représenté sur les figures 1 et 2 comporte des moyens cadencés pour appliquer au fil des impulsions de courant, avec à chaque  
35 fois la même valeur constante de courant, selon un rapport

cyclique bien déterminé. Elle comporte également des moyens capables, pendant chaque période séparant deux impulsions de courant successives, d'acquérir la température du fil par mesure de sa résistance. Pour pouvoir effectuer cette  
5 mesure, il est nécessaire de faire circuler un très faible courant constant dans le fil, la valeur de ce courant étant choisie de manière à ne pas influencer le comportement thermique du fil pendant son refroidissement. Par exemple, le courant est choisi de manière à dégager une puissance de  
10 quelques milliwatts, à comparer à quelques dizaines de watts pendant les impulsions de courant proprement-dites. Ainsi la température du fil pendant son refroidissement est directement proportionnelle à la tension à ses bornes.

L'unité de traitement comporte un circuit de  
15 dérivation de cette tension, la dérivée ainsi obtenue donnant directement le débit du fluide.

De façon préférée, on choisit les différents paramètres (valeur du courant, largeur des impulsions, espacement entre les impulsions) de manière à s'affranchir  
20 au mieux des défauts de linéarité entre l'évolution du débit et l'évolution de la vitesse de refroidissement.

L'unité de traitement peut être en outre conçue de manière à assurer une compensation de ces défauts de linéarité, en faisant notamment intervenir des coefficients  
25 de pondération.

De préférence, cette unité de traitement est construite autour d'un micro-contrôleur convenablement programmé et pourvu des circuits d'entrée/sortie, en particulier de conversion numérique/analogique et  
30 analogique/numérique, appropriés.

On va décrire sommairement ci-dessous un exemple concret de réalisation de l'unité de traitement.

Elle comprend un microcontrôleur ou un microprocesseur 100 qui commande un amplificateur 103 destiné à délivrer un  
35 courant de chauffage du fil résistif 18. Le fil 18 est



branché entre la sortie de l'amplificateur de courant 103 et la masse.

La tension à la sortie de l'amplificateur 103 est appliquée à l'entrée analogique d'un convertisseur analogique/numérique 101 associé au microcontrôleur, pour  
5 obtenir dans celui-ci une valeur numérique représentative de la tension aux bornes du fil résistif.

Un générateur 104 d'un faible courant constant est également relié à la borne haute du fil résistif 18, de  
10 manière à y appliquer un faible courant permettant la mesure de la tension à ses bornes pendant les phases de refroidissement, sans influencer de façon significative sur ce refroidissement.

Enfin la borne haute du fil résistif 18 est reliée à  
15 l'entrée d'un double échantillonneur-bloqueur 105 commandé par le microcontrôleur 100 et dont la sortie est reliée à l'entrée d'un second convertisseur analogique/numérique 102 associé au microcontrôleur.

Le microcontrôleur communique avec un ordinateur  
20 central (non représenté) via une interface numérique appropriée 107.

On a représenté sur la figure 3 l'évolution de la tension aux bornes du fil chaud, et donc de sa température (indiquée en ordonnées en °K), en fonction du temps  
25 (indiqué en abscisses en secondes).

Dans cet exemple, les impulsions de courant avaient une largeur de 1 ms, la période de ces impulsions était de 4 ms et la valeur du courant était telle que la puissance Joule appliquée au fil était de 25 watts. La résistance  
30 électrique du fil était de 2  $\Omega$ . Les signaux ont été recueillis en faisant circuler dans le débitmètre un courant d'hydrogène liquide dont le débit variait autour de 100 kg/m<sup>2</sup>.s.

Dans l'exemple de réalisation décrit, on applique au  
35 fil résistif des impulsions d'une intensité constante et

d'une largeur prédéterminée.

En variante, on peut appliquer au fil des impulsions de puissance électrique constante. En d'autres termes, de par la connaissance permanente de la tension  $U_f$  aux bornes du fil, on détermine la valeur de l'intensité de chauffage  $I_f$  à y appliquer de manière à ce que  $U_f \cdot I_f =$  constante.

On s'affranchit de cette manière des imprécisions de mesure susceptibles de naître des écarts de température importants dans le fil, en assurant que la température du fil évolue dans la même gamme de valeurs que ce soit pour un débit élevé ou pour un débit faible.

Par ailleurs, l'unité de traitement peut être conçue de manière à faire travailler le fil dans des gammes différentes, en fonction de la gamme de débits que l'on souhaite mesurer.

Ce changement de gamme peut s'effectuer soit en faisant varier la valeur du courant de chauffage, soit en faisant varier la largeur des impulsions de chauffage, soit les deux.

L'unité de traitement peut être conçue de manière à effectuer ce changement de gamme de façon auto-adaptative en fonction des variations de débit rencontrées.

En conclusion, on a réalisé un débitmètre simple, robuste, fiable, et surtout insensible à la température du fluide et ayant un temps de réponse extrêmement court (de l'ordre de quelques millisecondes).

Bien entendu, la présente invention n'est nullement limitée aux formes de réalisation décrites et représentées, mais l'homme de l'art saura y apporter toute variante ou modification conforme à son esprit.

REVENDICATIONS

1. Débitmètre massique, du type comprenant un fil résistif (18) placé dans le trajet d'un fluide dont on souhaite mesurer le débit, des moyens d'alimentation (30, 103) pour appliquer au fil une énergie électrique et des moyens de mesure (30, 100) pour déduire des variations de température du fluide le débit massique du fluide, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation comprennent des moyens de commande (100) pour appliquer des impulsions de courant au fil pendant des périodes données et en ce que les moyens de mesure comprennent des moyens (100) pour déterminer la vitesse de refroidissement du fil entre lesdites périodes.

2. Débitmètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que les impulsions sont des impulsions de courant constant de largeur constante.

3. Débitmètre selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation (30) sont aptes à appliquer un très faible courant constant au fil entre lesdites périodes données et en ce que les moyens de mesure (30) comprennent des moyens pour déterminer la vitesse de variation de la tension aux bornes du fil entre lesdites périodes.

4. Débitmètre selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens de mesure (100) comprennent un moyen de dérivation de ladite tension.

5. Débitmètre selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend un fil résistif unique (18) disposé en travers d'un passage de fluide de section rectangulaire.

6. Débitmètre selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend deux fils résistifs branchés en série et disposés perpendiculairement l'un à l'autre.

7. Débitmètre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les moyens de commande (100) sont aptes à faire varier la valeur de l'intensité ( $I_f$ ) des impulsions de courant de manière à ce que chaque impulsion  
5 de courant applique au fil résistif (18) la même puissance électrique.

8. Débitmètre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les moyens de commande (100) sont aptes à faire varier au moins un paramètre choisi parmi  
10 l'intensité, la largeur et l'espacement des impulsions de courant de manière à maintenir le fil résistif (18) dans des intervalles de température voisins pour différentes valeurs du débit.

1 / 3

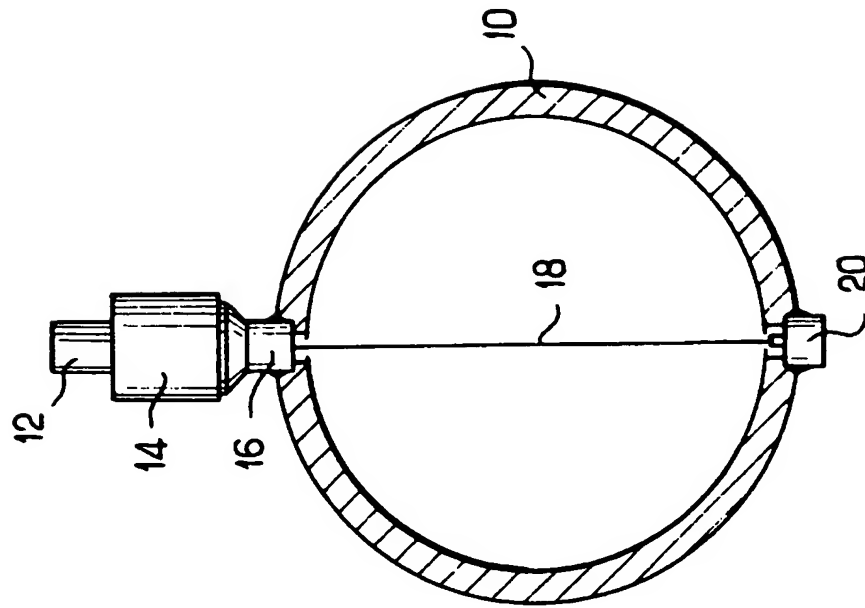
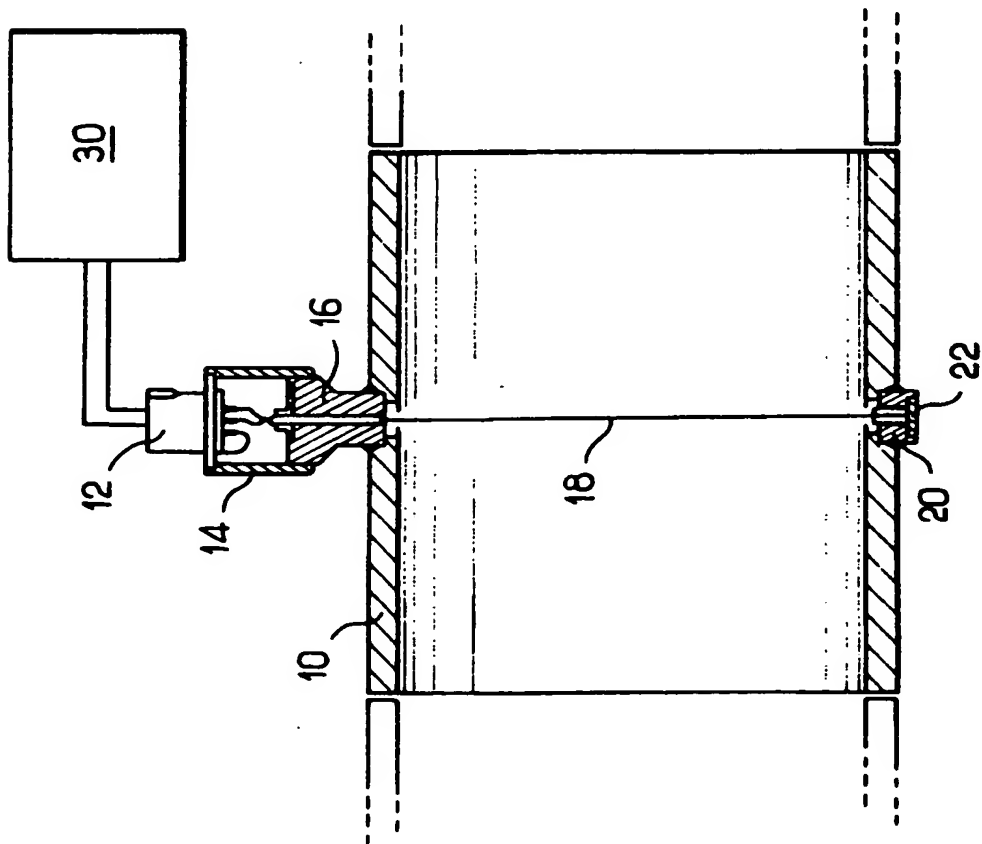
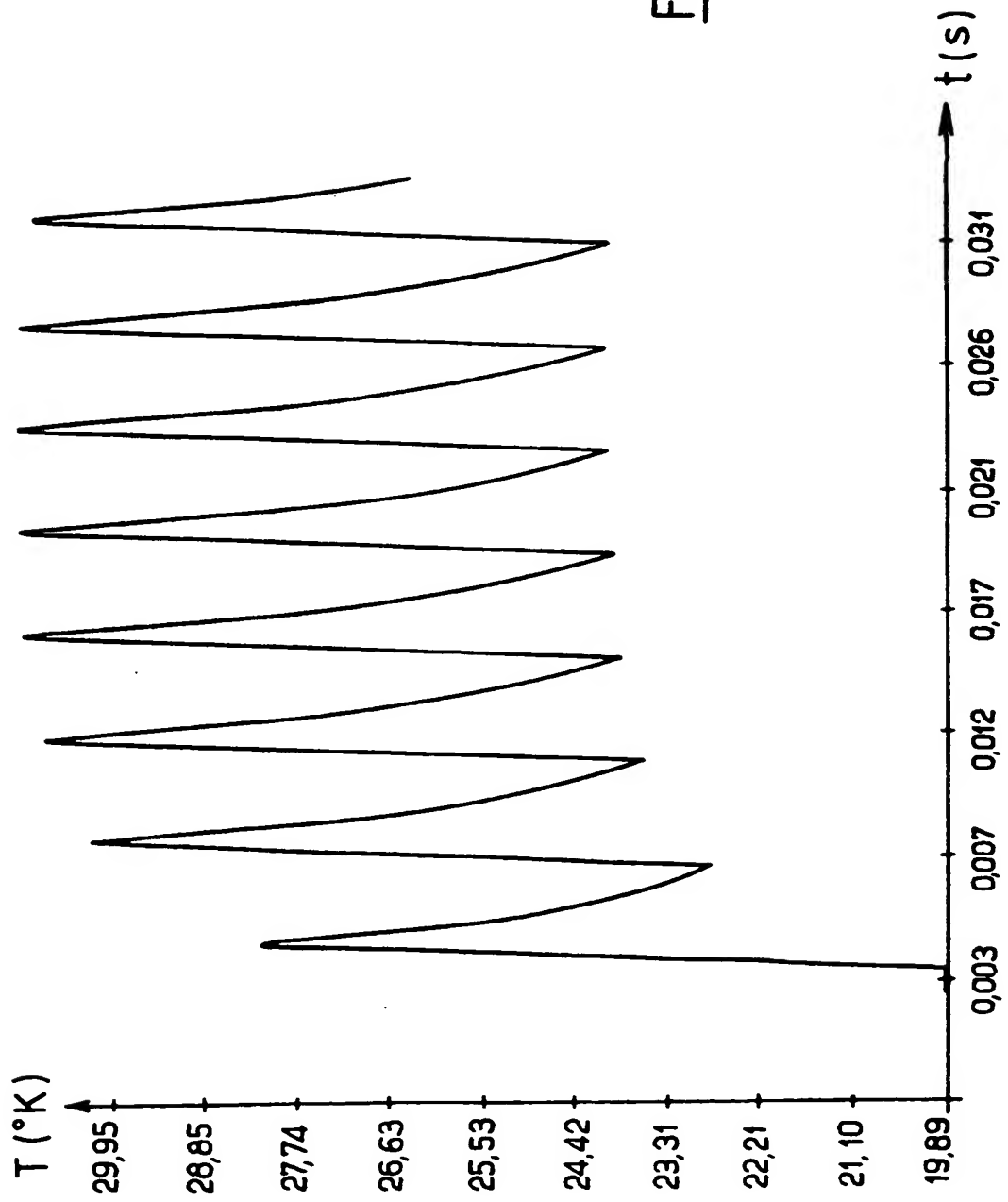
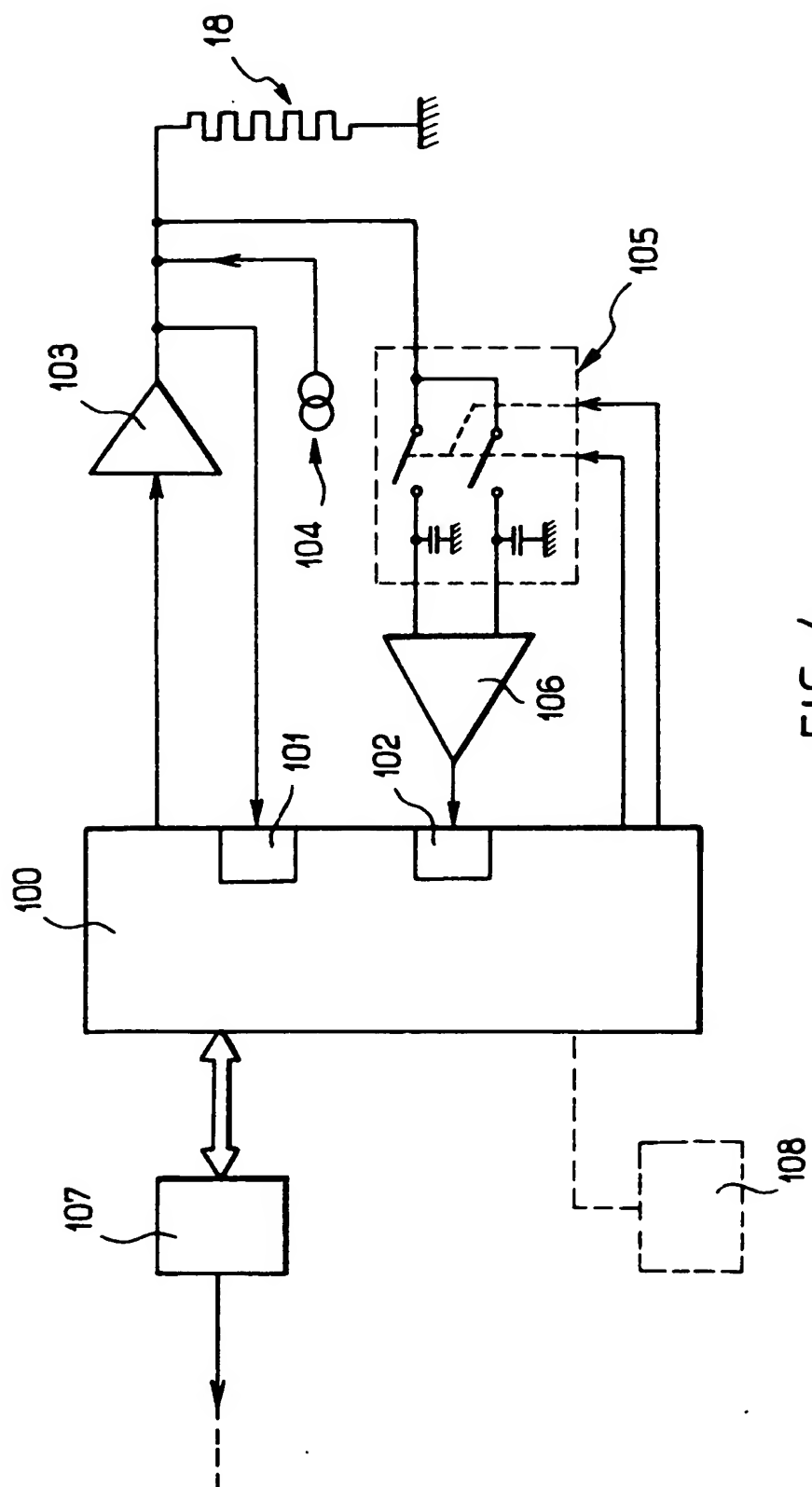
FIG. 2FIG. 1

FIG. 3



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande accumulée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	GB-A-1 345 324 (NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION) * page 1 - page 2; figures 1-4 *	1,2,5
A	---	7,8
A	WO-A-83 00227 (BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE) * page 7 - page 8; figures 1-5 *	1,2,7,8
A	---	
A	DE-A-28 45 662 (ROBERT BOSCH GMBH) * page 19 - page 20; figures 1,2,7,9 *	1,6
A	---	
A	EP-A-0 210 509 (SCHMIDT FEINTECHNIK GMBH) * abrégé; figures 1,2 *	1,7,8
A	---	
A	EP-A-0 269 823 (DRÄGERWERK AG) * abrégé; figures 1-4 *	1,7,8
	-----	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. CL. 9)
		G01F G01P
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
24 Juillet 1995		Vorropoulos, G
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un  autre document de la même catégorie  A : pertinent à l'encontre d'un ou de plusieurs revendications  ou arriéro-plans technologiques généraux  O : divulgation non-écrite  P : document intermédiaire</p> <p>T : théorie en principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure  à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date  de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons</p> <p>A : membre de la même famille, document correspondant</p>		



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**